

#5
4-26-02

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Sanae ITO, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: SIMULATION METHOD, SIMULATION PROGRAM, AND SEMICONDUCTOR DEVICE
MANUFACTURING METHOD EACH EMPLOYING BOUNDARY CONDITIONS



REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2000-402778	December 28, 2000

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
(B) Application Serial No.(s)
 - ☐ are submitted herewith
 - ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak
Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland
Registration Number 21,124



22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 10/98)

723

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年12月28日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-402778

出 願 人

Applicant(s):

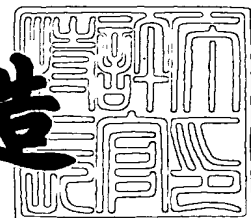
株式会社東芝



2001年10月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3092700

【書類名】 特許願

【整理番号】 46B009407

【提出日】 平成12年12月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/00

【発明の名称】 境界条件表示プログラムおよび半導体装置の製造方法

【請求項の数】 7

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
横浜事業所内

 【氏名】 伊藤 早苗

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
横浜事業所内

 【氏名】 天川 博隆

【特許出願人】

 【識別番号】 000003078

 【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

 【識別番号】 100083806

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 三好 秀和

 【電話番号】 03-3504-3075

【選任した代理人】

 【識別番号】 100068342

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 三好 保男

【選任した代理人】

 【識別番号】 100100712

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩▲崎▼ 幸邦

【選任した代理人】

【識別番号】 100100929

【弁理士】

【氏名又は名称】 川又 澄雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100108707

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 友之

【選任した代理人】

【識別番号】 100095500

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 正和

【選任した代理人】

【識別番号】 100101247

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 俊一

【選任した代理人】

【識別番号】 100098327

【弁理士】

【氏名又は名称】 高松 俊雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001982

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 境界条件表示プログラムおよび半導体装置の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力されたシミュレーションデータ内の境界条件がシミュレーションの計算領域に与える影響に関する情報を計算、出力する処理をコンピュータに実行させることを特徴とする境界条件表示プログラム。

【請求項 2】 境界条件に基づいてシミュレーションの計算領域外の像を生成、出力する処理をコンピュータに実行させることにより、境界条件がシミュレーションの計算領域に与える影響に関する情報を計算、出力することを特徴とする請求項 1 に記載の境界条件表示プログラム。

【請求項 3】 境界条件が不適切である場合、設定されたシミュレーションの計算領域を拡張し、拡張した当該計算領域に関する情報を出力する処理をコンピュータに実行させることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の境界条件表示プログラム。

【請求項 4】 ユーザからの指示に従って、他の境界条件を設定した場合に当該境界条件がシミュレーションの計算領域に与える影響に関する情報を出力することを特徴とする請求項 1 ～請求項 3 いずれか 1 項に記載の境界条件表示プログラム。

【請求項 5】 境界条件がシミュレーションの計算領域に与える影響に関する情報と共に、当該境界条件を用いてシミュレーションを実行した時の計算精度、計算速度に関する情報を出力することを特徴とする請求項 1 ～請求項 4 いずれか 1 項に記載の境界条件表示プログラム。

【請求項 6】 前記シミュレーションは、プロセス・デバイスシミュレーションであることを特徴とする請求項 1 ～請求項 5 いずれか 1 項に記載の境界条件表示プログラム。

【請求項 7】 入力されたシミュレーションデータに基づいてプロセス・デバイスシミュレーションを実行し、当該シミュレーションによって得られるシミュレーション結果を参照して半導体設計処理に関する物理量を決定し、当該物理量に基づいて半導体素子の設計を行う半導体装置の製造方法において、

シミュレーションデータ内の境界条件がシミュレーションの計算領域に与える影響に関する情報を計算、出力するステップと、

境界条件がシミュレーションの計算領域に与える影響に関する情報を参照して、シミュレーションに利用する境界条件を決定するステップと、

決定した境界条件に基づいて、プロセス・デバイスシミュレーションを実行するステップと、

プロセス・デバイスシミュレーションから得られるシミュレーション結果を参照して、半導体素子設計に関する物理量を決定するステップと

を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体素子設計の際に利用されるプロセス・デバイスシミュレーション装置等、境界条件を利用してシミュレーションを実行するシミュレーション装置に適用して好適な境界条件表示プログラムおよびこの境界条件表示プログラムを利用した半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

一般に、シミュレーション装置を利用して半導体素子の製造プロセスや電気特性等を計算する際には、計算時間や計算装置のメモリ量等に起因する制約から、シミュレーションの計算領域を有限の大きさに設定する必要性がある。特に、実行するシミュレーションが3次元計算である場合、計算に必要なメモリ量が2次元計算と比較して多く、その計算時間も長いことから、計算領域を十分に広くとることは困難である。このような背景から、シミュレーションの計算領域を有限の大きさに設定する場合には、シミュレーションの計算領域の境界に反射型境界条件や周期的境界条件等といった境界条件を設定してシミュレーションを実行する。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、一般に、境界条件は計算結果に影響を与えることが知られており、例えば、配線容量計算を行う際に計算領域の境界に反射型境界条件を設定すると、配線の鏡像が計算領域外に生成され、配線容量値は計算領域外にある鏡像の影響を受けた値となる。

【0004】

しかしながら、通常、こうした計算結果に対する境界条件の影響は目に見える形でユーザに呈示されることがないので、シミュレーションに不慣れなユーザは、境界条件に起因する影響を見落とし、計算された値が自身が設定した計算領域から得られる計算値と異なることに気付かないという問題が発生してしまう。

【0005】

また、計算領域の外部境界に反射型、固定型、周期型境界条件のような比較的簡単な境界条件を適用して数値計算を行うことが適切でない場合、計算領域を設定すること自体が、シミュレーションに熟達していないユーザーにとっては難しく、適切でない境界条件の設定であったがために、意図したものとは異なる計算結果を得てしまうことがあり、さらには、誤った値が得られたことに気づかずに、計算値を設計に使用して開発に支障をきたすこともあった。

【0006】

本発明は、シミュレーションの際に使用する境界条件の設定に伴って発生する、こうした種々の課題を解決すべくなされたものであり、その目的は、シミュレーションに不慣れなユーザであっても、境界条件を利用したシミュレーションを容易にする技術を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る境界条件表示プログラムの特徴は、境界条件がシミュレーション結果に及ぼす影響を計算、ユーザに対して視覚的に表現することにある。

【0008】

このような構成によれば、ユーザは、境界条件がシミュレーションに及ぼす影響を参照してシミュレーションを実行、若しくは自身の入力ファイルを変更することができるので、境界条件に起因する影響を見落とし、計算された値が自身が

設定した計算領域から得られる計算値と異なることに気付かないという問題の発生の防止することができる。また、このプログラムを半導体設計の際に利用されるプロセス・デバイスシミュレーションに適用した場合には、境界条件の影響を受けた誤った値によって半導体設計を行ってしまうことを防止することができるので、半導体素子の設計に要する労力および時間を大幅に削減、短縮することができる。

【0009】

【発明の実施の形態】

本発明は、例えば半導体設計の際に利用されるプロセスシミュレーションやデバイスシミュレーション等の計算処理に対して適用、実施することができる。以下、図1～図7を参照して、本発明をプロセス・デバイスシミュレーションに適用した、本発明の実施の一形態となるシミュレーション装置の構成およびその動作について詳しく説明する。

【0010】

《シミュレーション装置の構成》

始めに、本発明の実施の一形態となるシミュレーション装置の構成について説明する。

【0011】

図1は、本発明の実施の一形態のシミュレーション装置の構成を示す模式図である。

【0012】

この実施の形態のシミュレーション装置10は、図1に示すように、CPU11、RAM12、ROM13、入力部14、出力部15および境界条件データベース16を備える。

【0013】

CPU11は、ROM13内に記憶されたプログラム内容に従って各種制御を行い、例えば、シミュレーションプログラム（プロセス・デバイスシミュレーションプログラム）13aや境界条件表示プログラム13bおよびプログラムの実行のために必要なデータをROM13や境界条件データベース16からRAM1

2へとロードし、各プログラム内で指示された命令や処理を実行する。

【0014】

RAM12は、CPU11が実行する各種処理に関するプログラムおよびデータを一時的に格納するワークエリアを確保する。

【0015】

ROM13は、シミュレーションプログラム13aや境界条件表示プログラム13bといった各種プログラムおよびプログラム処理に必要なデータ等を記憶している。なお、ROM13は磁氣的、光学的記録媒体若しくは半導体メモリ等といった、CPU11が読み取り可能な記録媒体を含んだ構成となっている。また、この記録媒体に格納されるプログラムおよびデータは、その一部若しくは全部を電子ネットワーク回線等の伝送媒体を介して受信するような構成にしても良い。

【0016】

入力部14は、シミュレーションに関する各種情報を入力するために使用され、入力された情報はCPU11、RAM12およびROM13に出力される。なお、形態としては、例えば、テンキー、キーボード、マウスポインタ等を採用する。

【0017】

出力部15は、シミュレーションに関する各種情報を出力するために使用され、その形態としては、ディスプレイ装置や印刷装置等がある。

【0018】

境界条件データベース16は境界条件に関する各種情報を格納し、格納された情報は、CPU11を介して、参照、編集可能な構成となっている。ここで、境界条件データベース16内に格納されている情報としては、具体的には、反射型、固定型、周期型境界条件等、各種境界条件の計算精度、計算時間、文献等があり、ユーザがこれら情報を参照して境界条件の設定を行うことができる。

【0019】

《シミュレーション装置の動作》

次に、図2を参照して、上記のシミュレーション装置の動作について説明する

【 0 0 2 0 】

図 2 は、上記のシミュレーション装置の動作を示すフローチャート図である。

【 0 0 2 1 】

図 1 に示した実施の形態のシミュレーション装置 1 0 は、ユーザが、入力部 1 4 を利用してシミュレーション装置 1 0 に対してシミュレーションデータを入力し、シミュレーションの開始を指示すると（S 2 0 1）、CPU 1 1 が、ROM 1 3 から RAM 1 2 内にシミュレーションプログラム 1 3 a および境界条件表示プログラム 1 3 b を読み出し、これらプログラムに従って以下に示す処理を実行する。なお、この実施の形態においては、説明を容易にするためにシミュレーションプログラム 1 3 a と境界条件表示プログラム 1 3 b とを別のプログラムとして表現するが、シミュレーションプログラム 1 3 a の中に境界条件表示プログラム 1 3 b のコードを記述して 1 つのプログラムとして構成しても良い。以下、シミュレーションプログラム 1 3 a および境界条件表示プログラム 1 3 b に従ったシミュレーション装置 1 0 の動作について説明する。

【 0 0 2 2 】

ROM 1 3 から RAM 1 2 内へのシミュレーションプログラム 1 3 a および境界条件表示プログラム 1 3 b の読み出し処理が完了すると、CPU 1 1 は、まず始めに、ユーザが入力したシミュレーションデータ（入力データ）内に境界条件の設定があるか否かを判別する（S 2 0 2）。そして、判別の結果、境界条件の設定がある場合には以下の処理を実行する。

【 0 0 2 3 】

ここで、境界条件の設定がない場合には、CPU 1 1 は、境界条件が設定されていない旨のアドバイス情報を出力する（S 2 1 0）。なお、このアドバイス情報と共に、推奨する境界条件に関する情報を併せて出力するようにしても良い。

【 0 0 2 4 】

そして、アドバイス情報に基づいて境界条件の設定が必要であると判断した場合には、シミュレーションデータを編集して境界条件を設定し（S 2 1 2）、S 2 0 3 の処理に移行する。一方、境界条件の設定が必要でない場合には、そのシ

ミュレーションデータを用いてシミュレーションを実行する（S 2 0 9）。なお、境界条件の設定は、境界の各辺又は面毎に設定するようにしても良い。

【 0 0 2 5 】

ユーザが入力したシミュレーションデータ内に境界条件の設定がある場合、CPU 1 1 は、境界条件表示プログラム 1 3 b に従って、ユーザが設定した計算領域および計算領域外の像を生成し、生成した像を出力部 1 5 に出力する（S 2 0 3）。ここで、S 2 0 3 の処理に対するより具体的なイメージを持たせるために、ユーザが孤立した 2 本の平行配線間容量のシミュレーションを指定した場合を例として挙げ、S 2 0 3 の処理の具体例およびその効果について説明する。

【 0 0 2 6 】

一般に、配線間容量の数値計算においては、配線が十分に長い場合、図 3（a）に示すような断面方向の 2 次元計算をして配線間容量を求め（この例においては、各配線の辺の長さを L 、配線間隔を S とする）、計算領域は、点線で示すような、各配線から十分離れた距離 D の所までとする。また、境界条件は、取り扱いが容易な反射型境界条件を設定する。さらに、容量を計算する際は、配線 B に微小電位 dV を印加して、配線 A に発生した電荷量 Q を求め、容量値 $C = Q / dV$ を計算する。

【 0 0 2 7 】

このような配線間容量の数値計算においては、図 3（a）に示すように、計算領域の境界と計算領域内の配線 A との間の距離 D が十分大きければ容量値を正確に求めることができるのであるが、距離 D が小さい場合、反射型境界条件によって生成される計算領域外の鏡像が計算領域内の配線に与える影響が顕著となり、配線間容量を正確に求めることが困難となる。これは、容量計算を行うために配線 B に微小電位 dV を印加すると、配線 A に対して配線 B の全ての鏡像からの電位変化の影響を受けるためである。しかしながら、一般に、このような問題は気付き難く、シミュレーションに不慣れなユーザの場合、見落とし易い。そこで、S 2 0 3 の処理においては、図 3（b）に示すように、境界条件によって出現する計算領域外の鏡像をユーザに対して視覚的に表示することにより、計算しようとしている容量値が意図するものか否かを容易に判断できるようにしている。

【0028】

なお、この実施の形態においては、図3（b）に示すように、計算領域外の鏡像をユーザに表示するようにしたが、例えば、微小電位を印加する配線とその鏡像とを目立ち易い色で表示したり、点滅表示させるようにしても良い。また、さらに、CPU11が、ユーザが設定した境界条件を用いた場合の計算精度や計算速度等の情報を境界条件データベース16から抽出し、抽出した情報を図3（b）に示すアドバイス画面31aを介してユーザに通知するようにしても良い。

【0029】

S203の処理によって計算領域外の像が生成、出力されると、ユーザは出力された情報を参照して、自身が設定した境界条件の変更が必要であるか否かを判別する（S204）。そして、変更が必要でない場合には、例えば別途設けられたシミュレーション実行ボタン等をマウスでクリックし、CPU11に対してシミュレーションの実行を指示する。一方、変更が必要である場合には、ユーザは、例えば別途設けられた境界条件変更ボタン等をマウスでクリックする。境界条件変更ボタンがクリックされると、CPU11は、境界条件表示プログラム13bに従って、次の処理を実行する。

【0030】

CPU11は、境界条件データベース16を参照して、ユーザが現在設定している境界条件以外の他の境界条件を設定した場合の計算領域外の像を生成し、例えば図4に示すように計算領域外の像を境界条件毎に複数表示する（S205）。ここで、他の境界条件を設定した場合の計算領域外の像の生成処理は、ユーザが入力したシミュレーションデータ内で境界条件を宣言しているコード部分を擬似的に他の境界条件のコードに置換し、コードを置換したシミュレーションデータを実行することにより行われる。なお、図3（b）に示した境界条件表示画面と同様、鏡像を目立ち易い色で表示したり、点滅表示させるようにしても良い。また、アドバイス画面を介して境界条件に関する情報をユーザに通知するようにしても良い。さらに、ユーザが、例えば、半導体素子製造工程の1つであるイオン注入シミュレーションを行う場合には、次のような処理を行うことが望ましい。

【0031】

一般に、イオン注入処理は、シリコン基板や酸化膜、ポリシリコン等に不純物を制御性良く導入するため行われ、イオン注入シミュレーションにおいては、不純物イオンの加速エネルギーとドーズ量、注入する角度を入力として、シリコン基板、ポリシリコン、シリコン酸化膜等、計算領域中にある物質に導入される不純物の分布状態を計算する。しかしながら、通常、実際のイオン注入処理は、装置からビームとなって出てきたイオンを走査しながらウェハ等のターゲットに照射するが、シミュレーションでは、不純物分布を求めたい領域を計算領域として設定し、その領域に入るイオンの軌跡に基づいて計算領域中にある物質に導入される不純物量を計算する。以下、図5、6を参照して、2次元構造に対するイオン注入シミュレーションについて説明する。

【0032】

今、図5(a)に示すように四角形の計算領域に対してイオンが上部からまっすぐに入射する場合には、計算領域上部の辺上をイオンの軌跡の始点として、計算領域の左右の辺を反射型境界条件、同期的境界条件、完全透過型境界条件いずれにしても、計算結果として得られる不純物原子の分布は意図したものとなる。

【0033】

しかしながら、四角形の計算領域に対して右斜め上方からイオンが入射する場合には、計算領域上部の辺を始点として、左右の辺を反射型境界条件としたのでは、図5(b)に示すように、計算領域右側の物質中に本来入るべき不純物が計算されず、左側には計算領域側面にあたったイオンが反射した成分が重なって実際より不純物濃度の高い部分ができてしまう。

【0034】

また、計算領域の左右の辺を完全透過型境界条件とした場合には、図5(c)に示すように、計算領域右側の物質中には本来入るべき不純物が計算されない。一方、ここでは図示しないが、周期的境界条件を設定できる場合には、左辺から出たイオンの成分を右辺の同じ高さの座標から同じ入射ベクトルで導入するようのできる、正しい計算結果を得ることができるが、計算対象が周期的な構造をしている場合にしか用いることはできない。

【 0 0 3 5 】

そこで、このように反射型や固定型、周期型境界条件のような比較的簡単な境界条件を用いることが適切でないような場合には、CPU 11は、図6に示すように、ユーザが設定した計算領域を拡張し、左右に計算しやすい境界条件を設定し、もともとの計算領域内に外部から及ぶ影響を正しく求めることができるような計算領域を生成、ユーザに視覚的に表示するようにする（図6に示すイオン注入シミュレーションにおいては、拡張する領域は、少なくとも左右に $1 \times \tan \theta$ 、ここで1は元々の計算領域の高さ、 θ はイオンの入射角度である）。

【 0 0 3 6 】

このような処理によれば、境界条件に対するユーザの注意を喚起し、計算しているものが意図した工程であるか、計算結果が所望の物であることを容易にチェックしながらシミュレーションを行うことが可能となる。なお、拡張した領域だけでなく、拡張した領域から元々の計算領域に及ぶ影響をも視覚的に明示するようにしても良い。また、この実施の形態においては、2次元シミュレーションの場合について説明したが、3次元シミュレーションにおいても同様の方法を用いることができる。

【 0 0 3 7 】

以上のS 2 0 5の処理によって、他の境界条件を用いた時の計算領域外の像が表示されると、ユーザは、その中に所望の境界条件があるか否かを判別する（S 2 0 6）。そして、所望の境界条件がある場合には、ユーザは、例えばマウスで所望の境界条件表示画面をクリックする等して、所望の境界条件を選択する。境界条件の選択に伴い、CPU 11は、ユーザが選択した境界条件に基づいてシミュレーションデータの内容を更新し（境界条件の設定を置換する）（S 2 0 8）、更新したシミュレーションデータに従ってシミュレーションを実行する（S 2 0 9）。そして、シミュレーションが完了すると、CPU 11は、出力部15を介してシミュレーション結果を出力する。その後、ユーザは、シミュレーション結果を参照して半導体設計処理を行う等、シミュレーション結果を利用した各種処理を実行する。一方、所望の境界条件がない場合、ユーザはシミュレーションデータを手作業で編集し（S 2 0 7）、再びS 2 0 1の処理に戻る。

【0038】

上記の実施の形態のシミュレーション装置は、例えば、図7に示す構成のような概観を有する。つまり、シミュレーション装置は、コンピュータシステム70内にシミュレーション装置の各要素を内蔵することにより構成される。コンピュータシステム70は、フロッピーディスクドライブ72および光ディスクドライブ74を備えている。そして、フロッピーディスクドライブ72に対してはフロッピーディスク73、光ディスクドライブ74に対しては光ディスク75を挿入し、所定の読み出し操作を行うことにより、これらの記録媒体に格納されたプログラムをコンピュータシステム70内にインストールすることができる。また、所定のドライブ装置79を接続することにより、例えば、メモリ装置の役割を担うROM77や、磁気テープ装置の役割を担うカートリッジ78を用いて、インストールやデータの読み書きを実行することもできる。さらに、ユーザは、キーボード76を介してシミュレーションに関する各種情報を入力し、シミュレーション装置からの出力情報をディスプレイ71を介して出力することができる。

【0039】

(その他の実施の形態)

上記の処理においては、ユーザは複数の境界条件画面から所望の境界条件を設定するものとしたが、例えば、ユーザが計算領域の四辺を選択し、各辺の境界条件を辺毎にマニュアルで設定するようにしても良い。これにより、ユーザの様々な計算条件に合った境界条件の設定が可能となる。

【0040】

さらに、上記S205の処理において、特にモンテカルロ法を用いたイオン注入シミュレーションを行う場合には、以下の処理を実行することが望ましい。

【0041】

一般に、イオン注入をモンテカルロ法を用いて計算する場合には、注入イオンを粒子として扱い、イオンが注入相手の物質を構成する原子と散乱する過程をイオンが静止するまでモデルに従って計算する。このような計算においては、計算領域に入射したイオンは、ランダムな散乱過程で進行方向を変えて計算領域の外に飛び出すことがある。また、外に飛び出したイオンについて、計算領域外にお

いても計算を続けると、その後の散乱によって計算領域に戻らない場合も、散乱によって方向を変え、再び境界を突っ切って計算領域に戻る場合もある。モンテカルロ法を用いた計算によれば、ターゲットとなる物質の構造が複雑であっても正しい計算結果が得られるという特徴があるが、通常、計算時間は計算に用いる粒子の数に比例して長くなる。また、計算領域を必要以上に大きくとると、同じ精度の計算結果を得るのに多くの粒子を用いて計算しなければならず、多くの計算時間を要する。

【0042】

そこで、実行するシミュレーションがモンテカルロ法を用いたイオン注入シミュレーションである場合、計算の始めに、少ない粒子を計算領域を拡張した外部の領域からの注入計算に使用し、停止する粒子の位置を見て、必要な拡張領域の大きさを決めてから本計算をスタートさせるようにする。この場合、計算領域拡張の大きさを決めるために使った粒子の結果も本計算に含めるようにすれば計算時間の無駄にはならない。実際には、例えば本計算に使う粒子数の1%程度にあたる個数の粒子を使って拡張領域を決めても、全体の計算時間は1%増えるだけで効率良く高精度の計算結果を得ることができる。このように、モンテカルロ法を用いたイオン注入シミュレーションでは、計算領域の影響を確認してから本計算を開始するようにすれば、長時間かかるシミュレーションを誤りのために始めから何度もやり直す必要もなく、得られる不純物分布の誤りを防止するだけでなく、同じリソースで精度良くシミュレーションを行うことができる。

【0043】

なお、上記の実施の形態においては、計算の初めに拡張領域を決める計算を行った後、その結果を明示し、シミュレーション実行者の判断によって拡張領域を決めていたが、拡張領域を自動的に増やししながら、領域の外に出てまた戻る粒子をカウントして統計処理することにより、新たに拡張した計算領域が元の計算領域に与える影響が予め入力データで指定した値以下になるところまで拡張して本計算を始めるようにして、自動的に効率よい計算を行うようにしても良い。

【0044】

また、上記一連のシミュレーション装置の動作は、プログラム化しコンピュー

タ読み取り可能な記録媒体に保存しても良い。そして、シミュレーションを行う際は、この記録媒体をコンピュータシステムに読み込ませ、コンピュータシステム内のメモリ等の記憶部にプログラムを格納し、プログラムを演算装置で実行することにより、シミュレーション装置を実現することができる。ここで、記録媒体とは、例えば、半導体メモリ、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、磁気テープなどのプログラムを記録することができるようなコンピュータ読み取り可能な記録媒体等が含まれる。

【 0 0 4 5 】

さらに、上記の処理において、ユーザとの間の情報の入出力処理はローカルでの作業を基準として説明したが、入出力処理は電子ネットワークを利用したりリモート作業で行っても良く、例えば、LAN経由によるシミュレーションデータの入力処理および、シミュレーション結果・境界条件に関する情報の出力処理を行っても全く構わない。

【 0 0 4 6 】

(実施の形態の効果)

以上述べてきたように、この実施の形態のシミュレーション装置は、シミュレーションに用いる有限な計算領域とその境界条件の設定が計算結果に与える影響をユーザに対して視覚的に明示するので、シミュレーションに不慣れなユーザであっても、シミュレーションしようとするものの条件、若しくは、シミュレーションした結果が意図した物理量の抽出に有効であるか否かを判定し、境界条件を利用したシミュレーションを容易に行うことができる。

【 0 0 4 7 】

また、この実施の形態のシミュレーション装置は、境界条件が計算領域の計算に与える影響や設定した計算領域の有効性を参照しながら適宜シミュレーションデータの変更をすることができるので、シミュレーションを効率良く実行し、特にシミュレーションがプロセス・デバイスシミュレーションである場合には、半導体素子の設計に要する労力および時間を大幅に削減、短縮することができる。

【 0 0 4 8 】

【発明の効果】

本発明によれば、シミュレーションに不慣れなユーザであっても、境界条件を利用したシミュレーションを容易且つ精度高く実行することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施の形態のシミュレーション装置の構成を示す模式図である。

【図 2】

図 1 に示すシミュレーション装置の動作を示すフローチャート図である。

【図 3】

図 1 に示すシミュレーション装置からの出力情報を示す模式図である。

【図 4】

図 1 に示すシミュレーション装置からの出力情報を示す模式図である。

【図 5】

図 1 に示すシミュレーション装置からの出力情報を示す模式図である。

【図 6】

図 1 に示すシミュレーション装置からの出力情報を示す模式図である。

【図 7】

図 1 に示すシミュレーション装置の概観を示す模式図である。

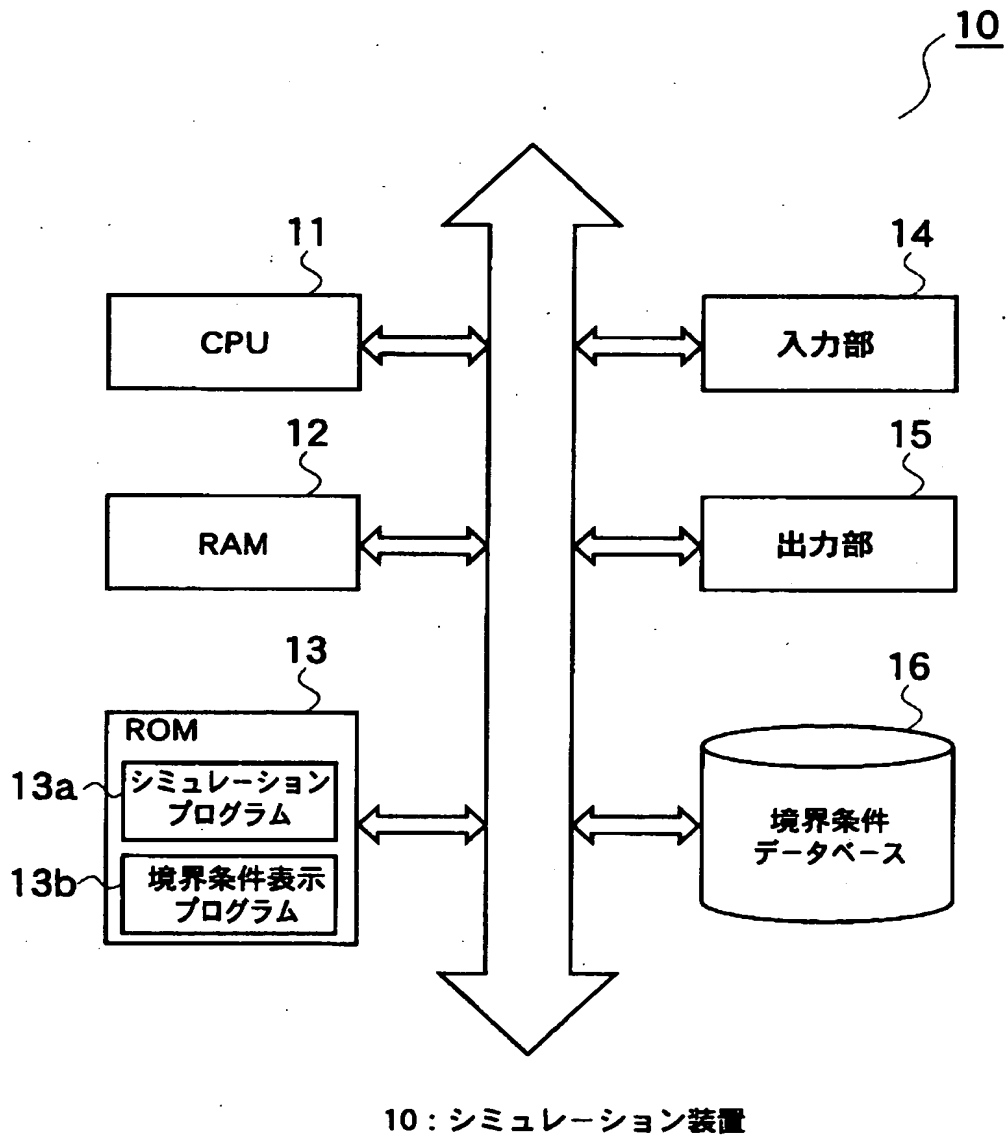
【符号の説明】

- 1 0 シミュレーション装置
- 1 1 CPU
- 1 2 RAM
- 1 3 ROM
- 1 3 a シミュレーションプログラム
- 1 3 b 境界条件表示プログラム
- 1 4 入力部
- 1 5 出力部
- 1 6 境界条件データベース
- 7 0 コンピュータシステム
- 7 1 ディスプレイ

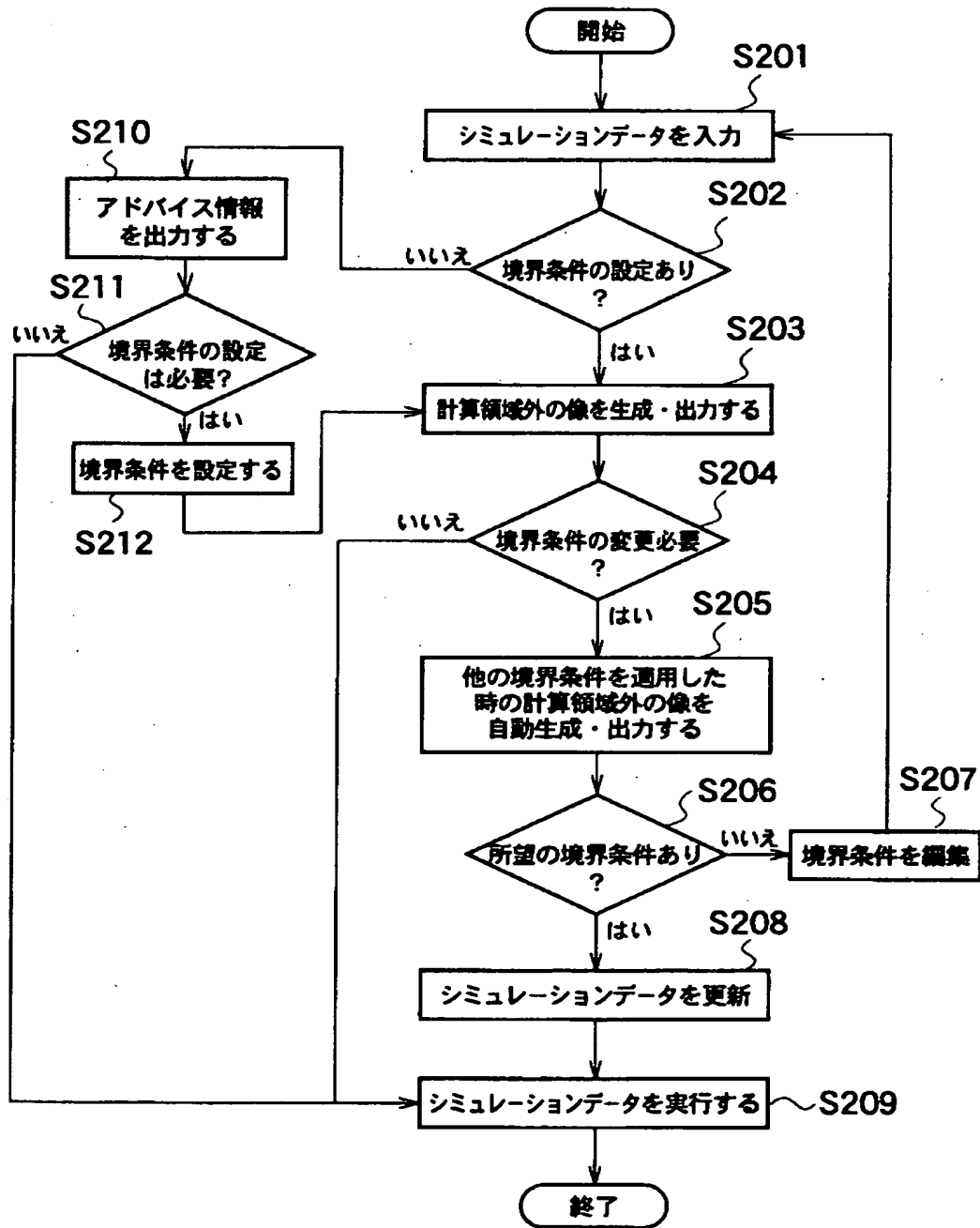
- 72 フロッピーディスクドライブ
- 73 フロッピーディスク
- 74 光ディスクドライブ
- 75 光ディスク
- 76 キーボード
- 77 ROM
- 78 カートリッジ
- 79 ドライブ装置

【書類名】 図面

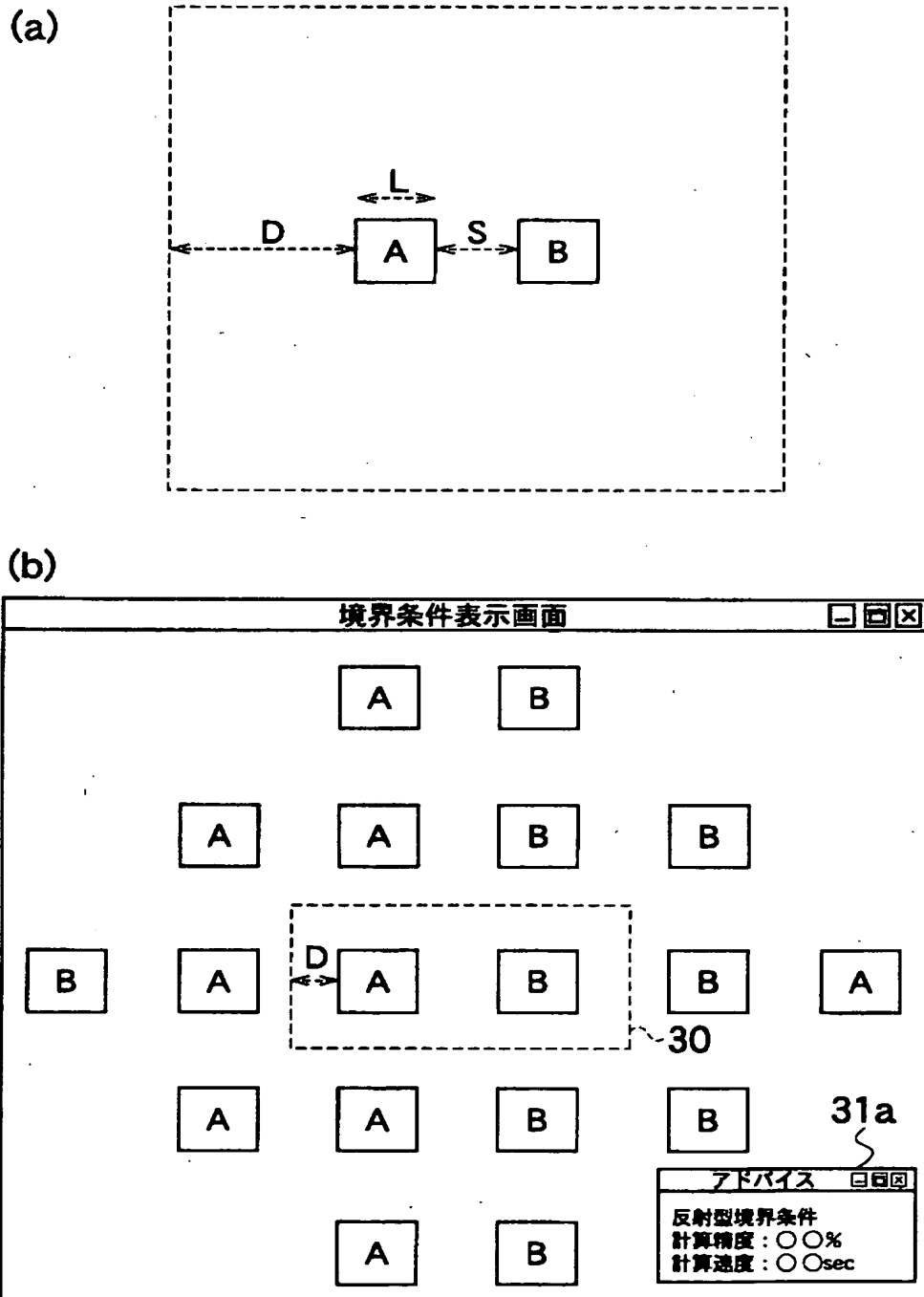
【図 1】



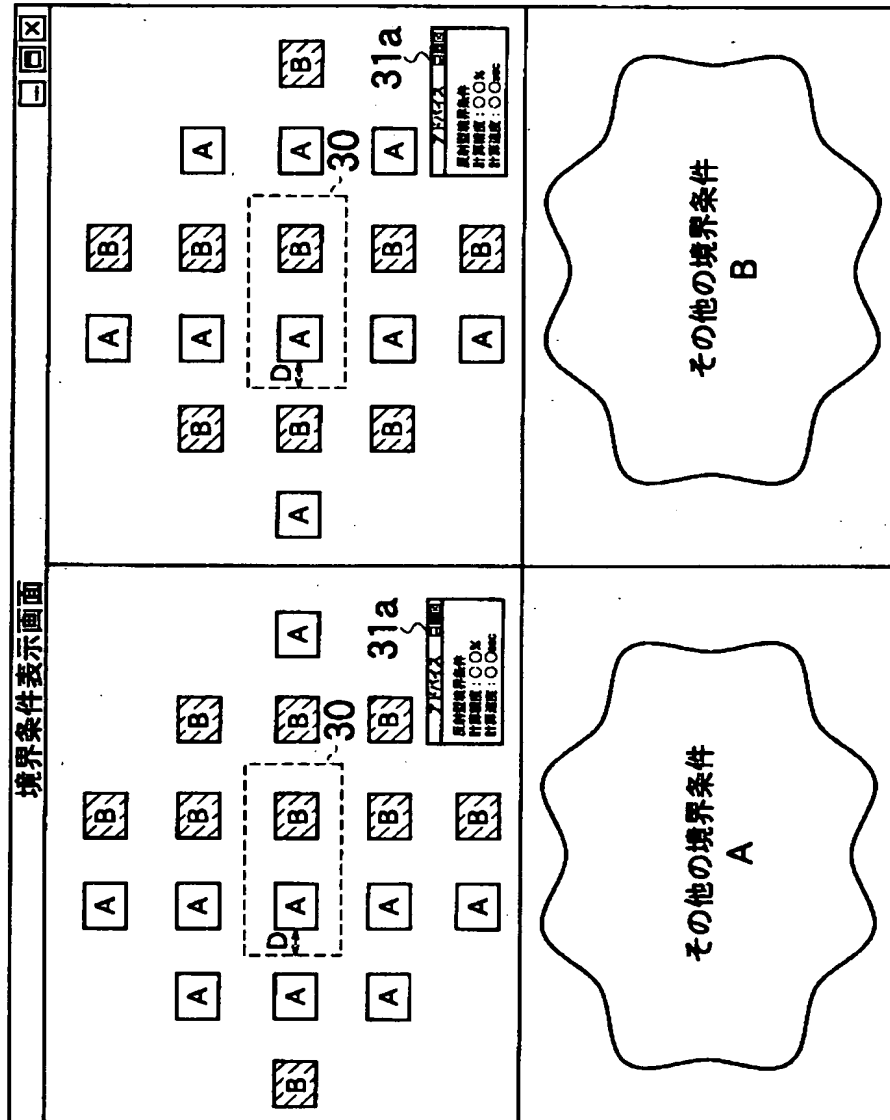
【図 2】



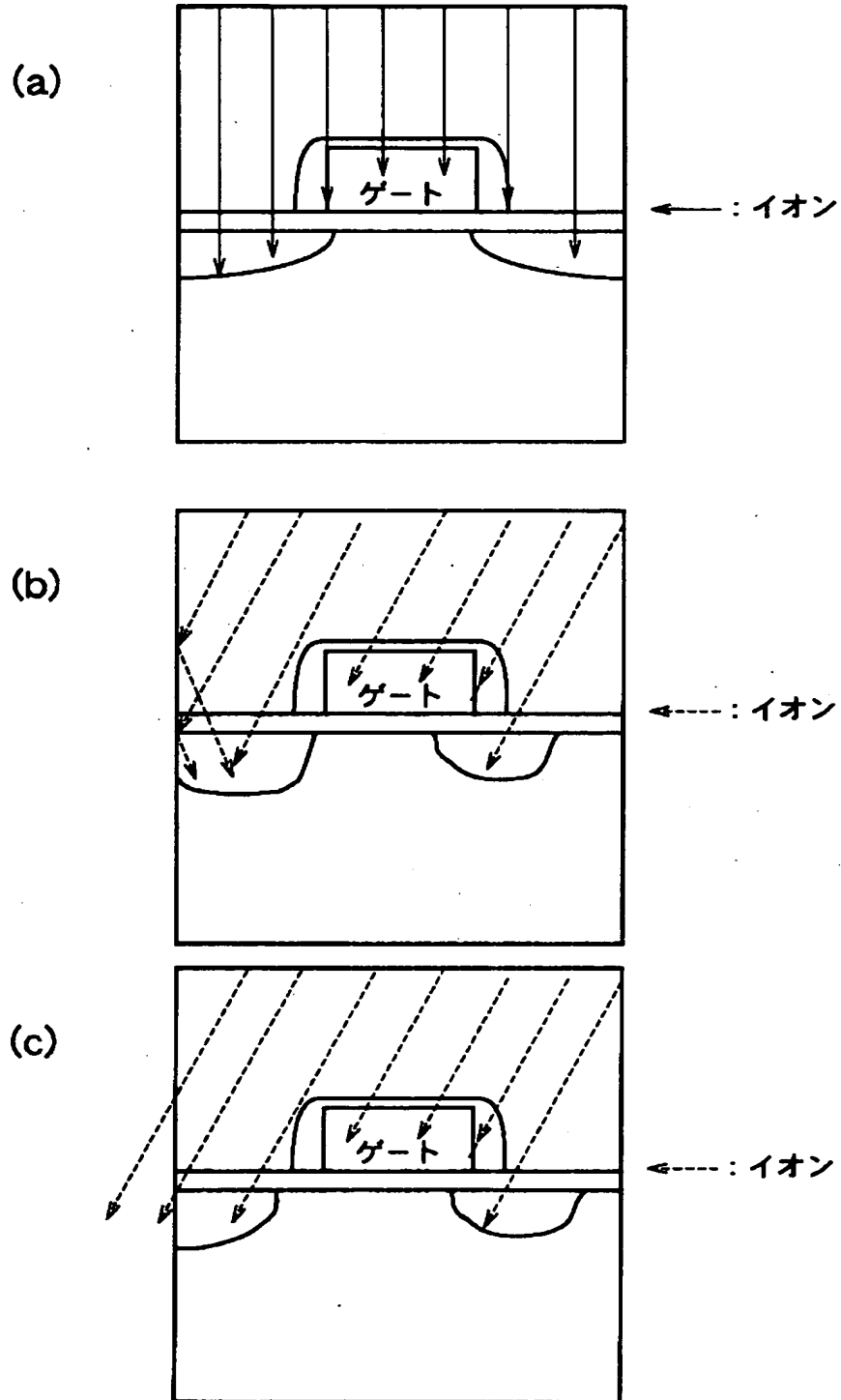
【図 3】



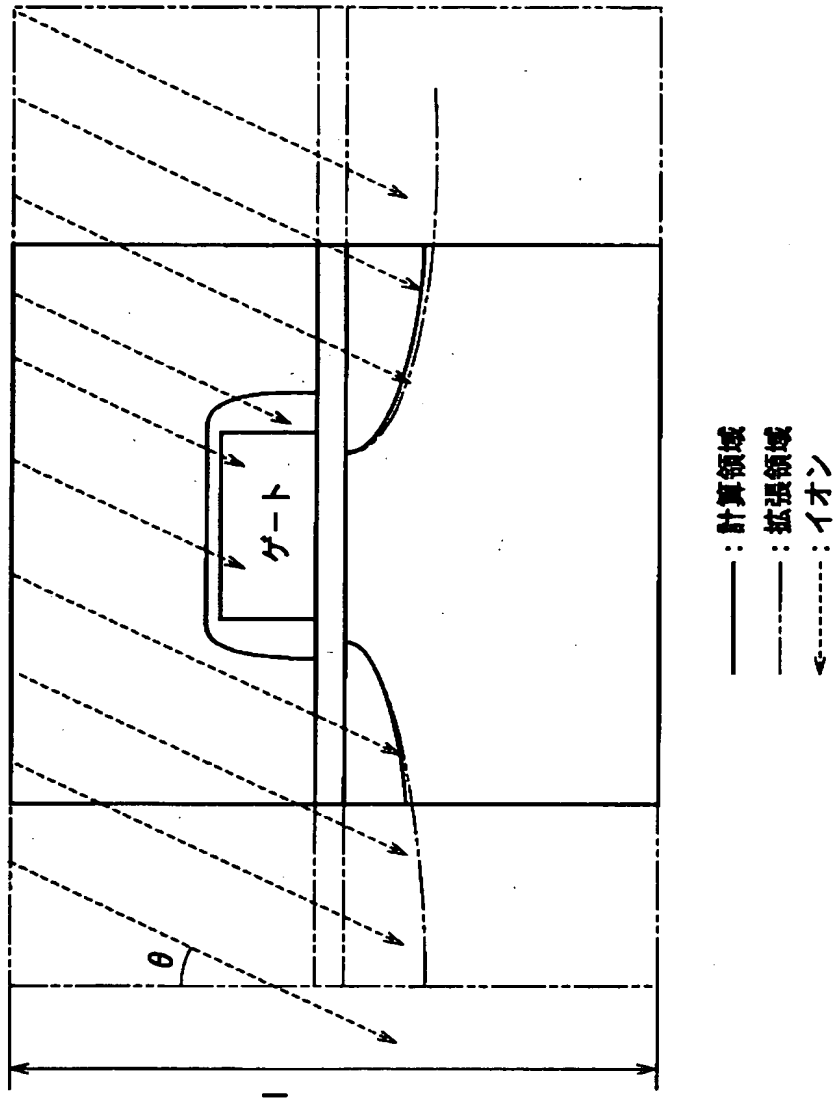
【図 4】



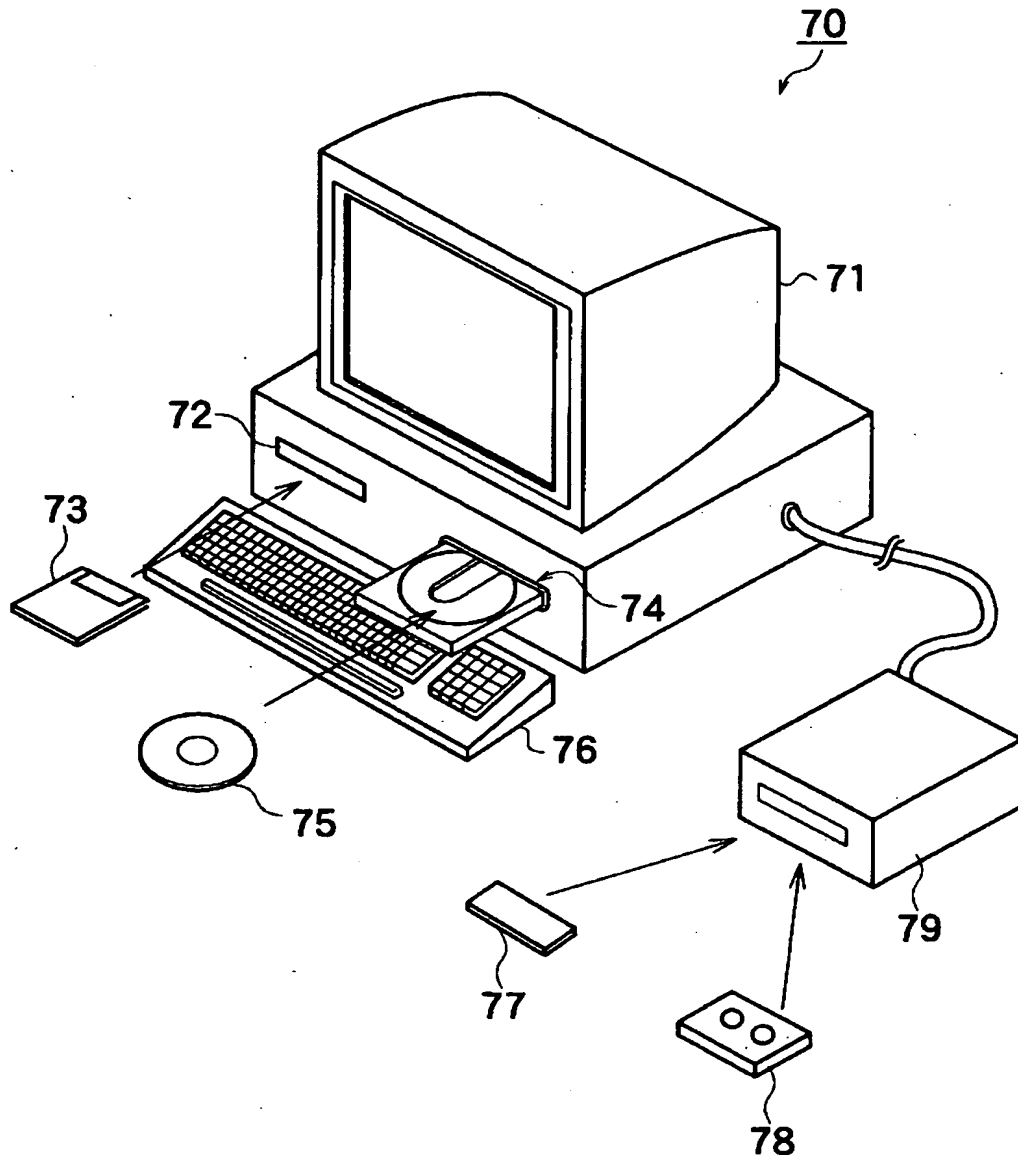
【図 5】



【図6】



【図 7】



70: コンピュータシステム
 71: ディスプレイ
 72: フロッピーディスクドライブ
 73: フロッピーディスク
 74: 光ディスクドライブ

75: 光ディスク
 76: キーボード
 77: ROM
 78: カートリッジ

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 境界条件を利用したシミュレーションを容易且つ精度高く実行する。

【解決手段】 入力されたシミュレーションデータ内の境界条件がシミュレーションの計算領域に与える影響に関する情報を計算、出力する処理 S 2 0 3 とをコンピュータに実行させる。

【選択図】 図 2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2000-402778
受付番号	50001706908
書類名	特許願
担当官	寺内 文男 7068
作成日	平成 13 年 1 月 5 日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000003078
【住所又は居所】	神奈川県川崎市幸区堀川町 7 2 番地
【氏名又は名称】	株式会社東芝

【代理人】

【識別番号】	申請人
【住所又は居所】	100083806
【氏名又は名称】	東京都港区虎ノ門 1 丁目 2 番 3 号 虎ノ門第一ビル 9 階 三好内外国特許事務所
【選任した代理人】	三好 秀和

【識別番号】	100068342
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門 1 丁目 2 番 3 号 虎ノ門第一ビル 9 階 三好内外国特許事務所
【氏名又は名称】	三好 保男

【選任した代理人】

【識別番号】	100100712
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門 1 丁目 2 番 3 号 虎ノ門第一ビル 9 階 三好内外国特許事務所
【氏名又は名称】	岩▲崎▼ 幸邦

【選任した代理人】

【識別番号】	100100929
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門 1 丁目 2 番 3 号 虎ノ門第一ビル 9 階 三好内外国特許事務所
【氏名又は名称】	川又 澄雄

【選任した代理人】

【識別番号】	100108707
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門 1 丁目 2 番 3 号 虎ノ門第 1 ビル 9 階 三好内外国特許事務所

次頁有

認定・付加情報（続き）

【氏名又は名称】	中村 友之
【選任した代理人】	
【識別番号】	100095500
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門1丁目2番3号 虎ノ門第一ビル9階 三好内外国特許事務所
【氏名又は名称】	伊藤 正和
【選任した代理人】	
【識別番号】	100101247
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門1丁目2番3号 虎ノ門第一ビル9階 三好内外国特許事務所
【氏名又は名称】	高橋 俊一
【選任した代理人】	
【識別番号】	100098327
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門1丁目2番3号 虎ノ門第一ビル9階 三好内外国特許事務所
【氏名又は名称】	高松 俊雄

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003078]

1. 変更年月日 1990年 8月22日
[変更理由] 新規登録
住 所 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
氏 名 株式会社東芝
2. 変更年月日 2001年 7月 2日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都港区芝浦一丁目1番1号
氏 名 株式会社東芝